

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-62299

(43)公開日 平成9年(1997)3月7日

| (51)IntCl. <sup>6</sup> | 識別記号 | 庁内整理番号  | F I     | 技術表示箇所 |
|-------------------------|------|---------|---------|--------|
| G 1 0 L                 | 9/14 |         | G 1 0 L | J      |
|                         | 9/08 |         |         | H      |
|                         | 9/18 |         |         | E      |
| H 0 3 M                 | 7/30 | 9382-5K | H 0 3 M | Z      |

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平7-214517

(22)出願日 平成7年(1995)8月23日

(71)出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72)発明者 伊東 克俊

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

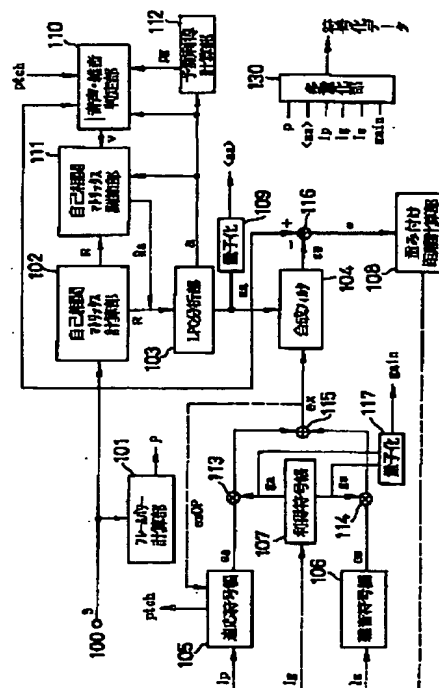
(74)代理人 弁理士 工藤 宜幸

## (54)【発明の名称】 コード励振線形予測符号化装置

## (57)【要約】

【課題】 非音声信号区間における音響信号の符号化出力に与える影響を低減し、良好な音声再生を行う。

【解決手段】 調節部111は、自己相関マトリクスRと、音声／雑音判定信号vと、声道予測係数aとを与えられると、過去に雑音と判定された区間の自己相関マトリクスと、現フレームの自己相関マトリクスとの組み合わせによって、新しい自己相関マトリクスR<sub>a</sub>を求めてLPC分析部103に与える。LPC分析部103は、自己相関マトリクスRから声道予測係数aを求めて予測利得計算部112に与えると共に、調節部111からの自己相関マトリクスR<sub>a</sub>が与えられ、上記声道予測係数aを修正した最適な声道予測係数a<sub>a</sub>を求めて合成フィルタ104に与える。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力音響信号から自己相関マトリクスの情報を求める自己相関分析手段と、

上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、

上記声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、

上記入力音響信号と上記声道予測係数と上記予測利得係数とから入力音響信号の非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における上記自己相関の情報を調節する自己相関調節手段と、

上記調節後の自己相関の情報から非音声信号区間における声道予測係数を補償した補償後声道予測係数を得る声道予測係数補償手段と、

上記補償後声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことを特徴とするコード励振線形予測符号化装置。

【請求項2】 入力音響信号から自己相関の情報を求める自己相関分析手段と、

上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、

上記声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、

上記声道予測係数からLSP係数を求めると共に、上記入力音響信号と上記声道予測係数と上記予測利得係数とから入力音響信号の非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における上記LSP係数を調節するLSP係数調節手段と、

上記調節後のLSP係数から非音声信号区間における声道予測係数を補償した補償後声道予測係数を得る声道予測係数補償手段と、

上記補償後声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことを特徴とするコード励振線形予測符号化装置。

【請求項3】 入力音響信号から自己相関の情報を求める自己相関分析手段と、

上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、

上記声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、

上記入力音響信号と上記予測利得係数と上記声道予測係数とから非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における上記声道予測係数を調節して、調節後の声道予測係数を得る声道係数調節手段と、

上記調節後の声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことを特徴とするコード励振線形予測符号化装置。

2

【請求項4】 入力音響信号から自己相関の情報を求める自己相関分析手段と、

上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、

上記声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、

上記入力音響信号から帯域通過処理して得た帯域通過処理信号と、上記予測利得係数とから非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間の信号分析を行ってノイズ除去のためのフィルタ係数を生成し、上記入力音響信号に対して上記フィルタ係数を使用してノイズ除去を行って合成音声信号の生成のためのターゲット信号を生成するノイズ除去手段と、

上記声道予測係数を使用して上記合成音声信号を生成する合成音声生成手段と、

上記声道予測係数と上記ターゲット信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことを特徴とするコード励振線形予測符号化装置。

20 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はコード励振線形予測符号化(CELP)装置に関し、特に非音声信号区間における音響信号の影響を考慮したことに関するものである。

【0002】

【従来の技術】音声の符号化・復号化を行うにあたり、音声区間とそれ以外の無音・雑音区間は同等に処理されていた。音声の符号化方法としては、例えば、下記の文献に開示されている。

30

【0003】文献：Proc. IEEE ICASSP、1990年、ページ461～464、『VECTOR SUM EXCITED LINEAR PREDICTION (VSELP) SPEECH CODING AT 8kbps』、Gerson and Jasjuk。

40

【0004】この文献では、現在北米デジタルセルラ用音声符号化方式の標準として定められているVSELP方式について述べられている。日本のデジタルセルラ用音声符号化方式にも同様な方式が採用されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、CELP系符号化器の構成は、音声区間の符号化特性を重視したものであり、雑音を符号化・復号化した場合、合成音は不自然な音となり、耳障りとなっていた。

【0006】CELP系の符号化器で符号化され、そして復号化された合成音の雑音区間は励振源に用いる符号帳が音声に最適化されていること、LPC分析(線形予測分析)から得られるスペクトル推定誤差がフレーム毎に異なるなどから符号化前の雑音からかけ離れた不自然

50

## 3

な音になり、通話品質を劣化させる原因となっていた。

【0007】以上のようなことから、特に非音声信号区間における音響信号（雑音や回転音や振動音など）の符号化出力に与える影響を低減し、良好な音声再生を行い得るコード励振線形予測符号化装置の提供が要請されている。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】そこで、請求項1の発明のコード励振線形予測符号化装置は、入力音響信号から自己相関の情報（例えば、自己相関マトリクス又は自己相関係数など）を求める『自己相関分析手段』と、上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める『声道予測係数分析手段』と、上記声道予測係数から予測利得係数を求める『予測利得係数分析手段』と、上記入力音響信号と上記声道予測係数と上記予測利得係数とから入力音響信号の非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における上記自己相関の情報を調節する『自己相関調節手段』と、上記調節後の自己相関の情報から非音声信号区間における声道予測係数を補償した補償後声道予測係数を得る『声道予測係数補償手段』と、上記補償後声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する『符号化手段』とを備えて、上述の課題を解決するものである。

【0009】尚、上記声道予測係数分析手段の声道予測係数は、例えば、LPC（線形分析コーディング）で求めることができる。上記予測利得係数は、例えば、声道の反射係数として求めることもできる。上記自己相関調節手段によって、例えば、過去に雑音と判定された区間の自己相関の情報と現フレームの自己相関の情報との組み合わせによって雑音を低減するように調節された自己相関の情報を得ることができる。

【0010】この調節された自己相関の情報から非音声信号区間における声道予測係数を求めることで、非音声信号区間の音響信号（例えば、雑音）に対する補償を行った補償後の声道予測係数を得る。この補償後声道予測係数を適応符号帳の適応励振信号などを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化することで、従来に比べ特に非音声信号区間における符号化出力を雑音低減に適したものにすることができる。

【0011】また、請求項2の発明のコード励振線形予測符号化装置は、入力音響信号から自己相関の情報を求める『自己相関分析手段』と、上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める『声道予測係数分析手段』と、上記声道予測係数から予測利得係数を求める『予測利得係数分析手段』と、上記声道予測係数からLSP（線スペクトル対）係数を求めると共に、上記入力音響信号と上記声道予測係数と上記予測利得係数とから入力音響信号の非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における上記LSP係数を調節する『LSP係数調節手段』と、上記調節後のLSP係数から非音声信号

## 4

区間における声道予測係数を補償した補償後声道予測係数を得る『声道予測係数補償手段』と、上記補償後声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する『符号化手段』とを備えて、上述の課題を解決するものである。

【0012】尚、非音声信号区間の音響信号の影響を低減するために、声道予測係数からLSP係数に変換して、このLSP係数の段階で過去のフレームのLSP係数も参考にしてLSP係数を調節することで、音声信号区間におけるスペクトル変動に対してスペクトル変動を抑えたLSP係数を得やすくし、最後にLSP係数から声道予測係数に変換して、適応符号帳の適応励振信号などを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化することで、従来に比べ特に非音声信号区間における符号化出力を雑音低減に適したものにすることができるのである。

【0013】更に、請求項3の発明のコード励振線形予測符号化装置は、入力音響信号から自己相関マトリクス又は自己相関係数を求める『自己相関分析手段』と、上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める『声道予測係数分析手段』と、上記声道予測係数から予測利得係数を求める『予測利得係数分析手段』と、上記入力音響信号と上記予測利得係数と上記声道予測係数とから非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における上記声道予測係数を調節して、調節後の声道予測係数を得る『声道係数調節手段』と、上記調節後の声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する『符号化手段』とを備えて、上述の課題を解決するものである。

【0014】このような構成で、非音声信号区間における上記声道予測係数を過去の非音声信号区間における声道予測係数を用いて直接求めるもので、非常に少ない演算量で非音声信号区間の音響信号の影響を低減するように符号化することができる。

【0015】更にまた、請求項4の発明のコード励振線形予測符号化装置は、入力音響信号から自己相関の情報を求める『自己相関分析手段』と、上記自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める『声道予測係数分析手段』と、上記声道予測係数から予測利得係数を求める『予測利得係数分析手段』と、上記入力音響信号から帯域通過処理して得た帯域通過処理信号と、上記予測利得係数とから非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間の信号分析を行ってノイズ除去のためのフィルタ係数を生成し、上記入力音響信号に対して上記フィルタ係数を使用してノイズ除去を行って合成音声信号の生成のためのターゲット信号を生成する『ノイズ除去手段』と、上記声道予測係数を使用して上記合成音声信号を生成する『合成音声生成手段』と、上記声道予測係数と上記ターゲット信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する『符号化手段』とを備えて、上述

## 5

の課題を解決するものである。

【0016】尚、上記ノイズ除去手段は、入力音響信号から非音声信号区間のノイズを除去するためにフィルタで構成していて、このフィルタのフィルタ係数を声道予測係数や、予測利得係数や、帯域通過処理信号を使用し、求めることで、ノイズを除去したターゲット信号を得ることができる。従って、このノイズ除去後のターゲット信号を使用し、コード励振線形予測符号化することで、非音声信号区間のノイズの影響を除去した符号化出力を得ることができるのである。

## 【0017】

【発明の実施の形態】次に本発明の好適な実施の形態を図面を用いて説明する。本発明の実施の形態においては、先ず(1)、フレーム音声・雑音判定をもとに合成フィルタ係数の調節を自己相関マトリクス、又はLSP係数、又は直接予測係数を用いて行い、雑音区間においての不自然な異音を削減するように構成する。

【0018】(2)更に、サブフレーム音声・雑音判定をもとに、最適符号ベクトル選定のためのターゲット信号をフィルタ処理して雑音を低減するように構成するものである。

## 【0019】『第1の実施の形態』:

(A)具体的には、雑音区間異音抑圧型CELP系音声符号器において、入力信号をフレーム単位に音声・雑音に分別し、現雑音区間フレームの自己相関マトリクスと連続した前雑音区間フレームの自己相関マトリクスとの組み合わせによって新しい自己相関マトリクスを計算し、新しい自己相関マトリクスを用いてLPC分析を行い、合成フィルタ係数を求めて量子化して復号器に送信し、上記合成フィルタ係数を用いて最適符号帳ベクトルの検索を行う構成とする。

【0020】次に上述の(A)の構成を実現する詳細な構成を説明する。図1はCELP符号化装置の機能構成図である。この図1において、CELP符号化装置は、フレームパワー計算部101と、自己相関マトリクス計算部102と、LPC分析部103と、合成フィルタ104と、適応符号帳105と、雑音符号帳106と、利得符号帳107と、重み付け距離計算部108と、LSP量子化器109と、音声・雑音判定部110と、自己相関マトリクス調節部111と、予測利得計算部112と、乗算器113、114と、加算器115と、減算器116と、量子化器117と、多重化部130とから構成されている。

【0021】この図1の構成で特徴的な部分は、特に自己相関マトリクス計算部102と、音声・雑音判定部110と、自己相関マトリクス調節部111と、LPC分析部103とによる声道係数を修正し、従来音声区間以外の雑音部分のCELP符号化によって耳障りな音を再生していた原因を解消するところである。

【0022】『フレームパワー計算部101』は、フレ

## 6

ーム単位にまとめられてベクトルとして入力される原信号ベクトルとして入力音声デジタル信号(音声ベクトル信号)Sを与えられると、フレームパワーを求めてフレームパワー信号Pとして多重化部130に与える。『自己相関マトリクス計算部102』は、上記フレーム単位の入力音声デジタル信号Sを与えられると、声道係数を求めるための自己相関マトリクスRを求めてLPC分析部103と、自己相関マトリクス調節部111とに与える。

10 【0023】『LPC分析部103』は、自己相関マトリクスRから声道予測係数aを求めて予測利得計算部112に与えると共に、自己相関マトリクス調節部111からの自己相関マトリクスRaを与えられると、上記自己相関マトリクスRaによって上記声道予測係数aを修正した最適な声道予測係数aaを求めて合成フィルタ104とLSP量子化器109とに与える。

20 【0024】『予測利得計算部112』は、上記声道予測係数aから反射係数に変換され、この反射係数から予測利得を求め、これを予測利得信号pgとして音声・雑音判定部110に与える。この『音声・雑音判定部110』は、適応符号帳105からピッチ係数信号pitchを与えられると共に、更に、フレーム単位の上記入力音声デジタル信号Sと、上記声道予測係数aと、上記予測利得信号pgとから、フレームの信号Sが音声信号であるか、それとも音声信号以外の雑音信号に当たるか否かを判定して、音声/雑音判定信号vを自己相関マトリクス調節部111に与える。

30 【0025】『自己相関マトリクス調節部111』は、特に重要な機能部であって、雑音と判定したときにだけ行われる処理で、上記自己相関マトリクスRと、上記音声/雑音判定信号vと、上記声道予測係数aとを与えられると、『過去に雑音と判定された区間の自己相関マトリクス』と、『現雑音フレームの自己相関マトリクス』との組み合わせによって、新しい自己相関マトリクスRaを求めてLPC分析部103に与える。

40 【0026】『適応符号帳105』は、周期性のある適応励振ベクトルを予め複数内部に備えているものであって、これらの適応励振ベクトルにはそれぞれインデックス番号Ipが付与されていて、重み付け距離計算部108から指定される最適インデックス番号Ipによって適応励振ベクトル信号eaを出力し、乗算器113に与えると共にピッチ信号pitch(入力音声信号Sと最適適応励振ベクトル信号eaとの正規化相互相関の信号)を出力して、音声・雑音判定部110に与える。また、この適応符号帳105内部の適応励振ベクトル信号は加算器115からの出力励振ベクトル信号exからの最適励振ベクトル信号exOPによって更新される。

50 【0027】『雑音符号帳106』は、雑音性の励振ベクトル信号を予め複数内部に備えているものであって、これらの雑音性励振ベクトル信号にはそれぞれインデッ

クス番号  $I_s$  が付与されていて、重み付け距離計算部 108 から指定される最適インデックス番号  $I_s$  によって雑音性励振ベクトル信号  $e_s$  を出力し、乗算器 114 に与える。

【0028】『利得符号帳 107』は、上記適応励振ベクトル信号と雑音性励振ベクトルとに対する利得コード（利得：ゲイン）を予め格納していて、これらの利得コードにはインデックス番号  $I_g$  がそれぞれ付与されていて、重み付け距離計算部 108 から指定される最適インデックス番号  $I_g$  によって、適応励振ベクトル信号に対しては利得コード信号  $g_a$  を出力して乗算器 113 に与え、雑音性励振ベクトル信号に対しては利得コード信号  $g_s$  を出力して乗算器 114 に与える。

【0029】『適応符号帳 105 側の乗算器 113』は、上記適応励振ベクトル信号  $e_a$  と、利得コード信号  $g_a$  との乗算を行って最適な利得（大きさ）の適応励振ベクトル信号にして加算器 115 に与える。『雑音符号帳 106 側の乗算器 114』は、雑音励振ベクトル信号  $e_s$  と、利得コード信号  $g_s$  との乗算を行って最適な利得（大きさ）の雑音性励振ベクトル信号にして加算器 115 に与える。『加算器 115』は上記最適な利得にされた適応励振ベクトル信号と、上記最適な利得にされた雑音性励振ベクトル信号との加算を行って、励振ベクトル信号  $e_x$  を合成フィルタ 104 に与えると共に、重み付け距離計算部 108 で計算される 2 乗和  $E$  が最小となる関係の最適な励振ベクトル信号  $e_{xOP}$  を適応符号帳 105 にフィードバックさせて更新して格納させる。

【0030】『合成フィルタ 104』は、IIR (Infinite Impulse Response: 巡回) 型デジタルフィルタ回路で構成することができ、上記修正後の最適な声道予測係数  $a_a$  と加算器 115 からの励振ベクトル（励振信号） $e_x$  とから合成音声ベクトル信号  $Sw$ （合成音声信号）を生成して減算器 116 に与える。即ち、IIR 型デジタルフィルタに対して上記修正後の最適な声道予測係数  $a_a$  のフィルタ（タップ）係数として、励振ベクトル信号  $e_x$  をフィルタ処理して合成音声ベクトル信号  $Sw$  を得る。減算器 116 は、入力音声デジタル信号  $S$  と、合成音声ベクトル信号  $Sw$  との減算を行い、この減算結果を誤差ベクトル信号  $e$  として重み付け距離計算部 108 に与える。

【0031】『重み付け距離計算部 108』は、減算器 116 からの誤差ベクトル信号  $e$  を与えられると、この誤差ベクトル信号  $e$  を周波数変換して重み付けを行う。重み付け後のベクトル信号の 2 乗和を求めて、この 2 乗和によって得られたベクトル信号  $E$  が最小となるように最適な適応励振ベクトル信号、雑音励振ベクトル信号、利得コード信号に当たる最適インデックス番号  $I_a$ 、 $I_s$ 、 $I_g$  を求めて、適応符号帳 105 と、雑音符号帳 106 と、利得符号帳 107 とに与える。

【0032】『利得コード用の量子化器 117』は、利

得コード信号  $g_a$ 、 $g_s$  とを量子化して、利得コード量子化信号として多重化部 130 に与える。『LSP 量子化器 109』は、雑音除去処理によって最適に修正された声道予測係数  $a_a$  を LSP 量子化して声道予測係数量子化信号  $\langle a_a \rangle$  を多重化部 130 に与える。

【0033】『多重化部 130』は、上述のフレームパワー信号  $P$  と、利得コード量子化信号と、声道予測係数量子化信号  $\langle a_a \rangle$  と、適応励振ベクトル選択用のインデックス番号  $I_p$  と、利得コード選択用のインデックス番号  $I_g$  と、雑音性励振ベクトル選択用のインデックス番号  $I_s$  とを多重化して、この多重化によって得られる多重化データを CELP 符号化装置の符号化データとして出力するものである。

【0034】（動作）： 入力端子 100 に与えられた入力音声デジタル信号  $S$  は、フレームパワー計算部 101 でフレーム単位でのパワーが求められ、フレームパワー信号  $P$  として多重化部 130 に与えられる。同時に上記音声デジタル信号  $S$  は自己相関マトリクス部 102 に与えられて、自己相関マトリクス  $R$  が求められて、この自己相関マトリクス  $R$  は更に、自己相関マトリクス調節部 111 に与えられる。更に、上記入力音声ベクトル信号  $S$  は音声・雑音判定部 110 にも与えられ、ここで入力音声デジタル信号  $S$  が音声であるか、それとも音声以外の雑音であるかを判定するのであるが、この判定には他のピッチ信号や、声道予測係数  $a_y$ 、予想利得信号  $p_g$  などを使用して判定される。

【0035】自己相関マトリクス計算部 102 で求められた自己相関マトリクス  $R$  から、LPC 分析部 103 で声道予測係数  $a$  が求められ、この声道予測係数  $a$  から予測利得計算部 112 で予測利得信号  $p_g$  が求められて、声道予測係数  $a$  と共に音声・雑音判定部 110 に与えられる。適応符号帳 105 から与えられるピッチ信号  $p_{tch}$ 、声道予測係数  $a$ 、予測利得信号  $p_g$ 、入力デジタル信号  $S$  を使用して音声・雑音判定部 110 で、入力音声デジタル信号  $S$  が音声信号に当たるか雑音に当たるかが判定され、音声／雑音判定信号  $v$  が自己相関マトリクス調節部 111 に与えられ自己相関マトリクス調節部 111 に与えられる。

【0036】自己相関マトリクス  $R$  と、声道予測係数  $a$  と、音声／雑音判定信号  $v$  とから、自己相関マトリクス調節部 111 で、過去に雑音と判定された区間の自己相関マトリクスと現フレームの自己相関マトリクスとの組み合わせによって、新しい自己相関マトリクス  $R_a$  が求められる。これによって耳障りの原因となっていた雑音部分に対する自己相関マトリクスが最適に修正されることになる。

【0037】新しい自己相関マトリクス  $R_a$  は、LPC 分析部 103 に与えられ、ここで新しい最適な声道予測係数  $a_a$  が求められ、合成フィルタ 104 に与えられる。新しい最適な声道予測係数  $a_a$  を IIR 型デジタル

10

20

30

40

50

フィルタに対するフィルタ係数として与え、合成フィルタ104で励振ベクトル信号 $e_x$ に対するフィルタ処理がなされ、合成音声ベクトル信号 $S_w$ が得られる。

【0038】この合成音声ベクトル信号 $S_w$ は、入力音声デジタル信号 $S$ との差が減算器で求められ、この差信号が誤差ベクトル信号 $e$ として重み付け距離計算部108に与えられる。この誤差ベクトル信号 $e$ は、重み付け距離計算部108で、周波数変換され、更に重み付けされて、二乗和ベクトル信号 $E$ が最小となるような最適な適応励振ベクトル信号、雑音励振ベクトル信号、利得コード信号に当たる最適インデックス番号 $I_a$ 、 $I_s$ 、 $I_g$ が求められる。これらの最適インデックス番号 $I_a$ 、 $I_s$ 、 $I_g$ は多重化部130に与えられると共に、最適励振ベクトル $e_a$ 、 $e_s$ と利得コード信号 $g_a$ 、 $g_s$ とを得るために適応符号帳105と、雑音符号帳106と、利得符号帳107とに与えられる。

【0039】上記最適インデックス番号 $I_a$ で読み出された適応励振ベクトル信号 $e_a$ は、インデックス番号 $I_g$ で読み出された利得コード信号 $g_a$ で乗算されて加算器115に与えられると共に、上記インデックス番号 $I_s$ で読み出された雑音性励振ベクトル信号 $e_s$ も、上記インデックス番号 $I_g$ で読み出された利得コード信号 $g_s$ で乗算されて加算器115に与えられる。乗算された2つの信号は、加算器115で加算されて励振ベクトル信号 $e_x$ が合成フィルタ104に与えられ、ここで合成音

$$RS = \Pi (1.0 - r[i])^{2i}$$

で表すことができる。尚ここで、 $i = 1 \sim N_p$ である。

【0044】反射係数 $r[0]$ は、分析フレーム信号のスペクトルの傾きを示すものであり、 $|r[0]|$ が0に近いほど、スペクトルが平らであると言える。通常、雑音スペクトルは、音声スペクトルに比べて傾きが少ない。また、予測ゲイン $RS$ は有音区間では0に近い値になり、無音・雑音区間では1.0に近い値となる。

$$D = Pow \cdot |r[0]| / RS$$

を求めて、この値に対して $D_{th}$ （閾値）で判断し、 $D > D_{th}$ ならば音声と判定し、 $D < D_{th}$ ならば雑音と判定することができる。

【0047】（自己相関マトリクス調節部111の詳細）：次に、上述の自己相関マトリクス調節部111における、自己相関マトリクス $R$ の調節は、過去のい

$$Radj = \Sigma (W_i \cdot R[i])$$

$i = 0 \sim m-1$ 、 $\Sigma W_i = 1.0$ 、 $W_i \geq W_{i+1} \geq 0$ で表すことができる。

【0048】自己相関マトリクス調節部111は、このような計算に対応する処理を行うものである。この処理によって得た自己相関マトリクス $Radj$ をLPC分析部103に与えるものである。

【0049】（第1の実施の形態の効果）：以上の第1の実施形態によれば、音声以外の入力信号をCELP系の符号化装置で符号化した場合、入力信号をフレ

声ベクトル信号 $S_w$ を得る。

【0040】このようにして、合成音声ベクトル信号 $S_w$ と入力音声デジタル信号 $S$ との誤差がなくなるまで、適応符号帳105と、雑音符号帳106と、利得符号帳107とを使用した合成音声ベクトル信号 $S_w$ の生成が行われ、また、音声以外の区間においては、声道予測係数 $aa$ が最適に修正されて、合成音声ベクトル信号 $S_w$ が生成される。

【0041】以上のような動作によって得られるフレームパワー信号 $P$ と、利得コード量子化信号と、声道予測係数量子化信号 $\langle aa \rangle$ と、適応励振ベクトル選択用のインデックス番号 $I_p$ と、利得コード選択用のインデックス番号 $I_g$ と、雑音性励振ベクトル選択用のインデックス番号 $I_s$ とは時事刻々多重化されて符号化データとして出力される。

【0042】（音声・雑音判定部110の詳細）：

音声・雑音判定部110は、『フレームパターン、分析パラメータなどを用いて雑音区間の検出を行う』。そこでまず、(1)分析パラメータを反射係数 $r[i]$  ( $i = 1, \dots, N_p$ 、 $N_p$ =フィルタ次数)に変換する。

尚、ここで、 $r[i]$ は、

$$-1.0 < r[i] < 1.0$$

とする。

【0043】また、(2)反射係数 $r[i]$ を用いて予測ゲイン $RS$ は、

$$\dots (1)$$

【0045】また、CELP符号化装置が適応される携帯電話装置などの用途においては、音声発生源である人の口と、信号入力部であるマイクロフォンとの距離が近い場合、フレームパワーは、音声区間では大きく、無音（雑音区間）では小さくなる。

【0046】そこで、音声・雑音の判定には、

$$\dots (2)$$

くつかの $m$ フレーム連続で雑音と判定されたときに行う。現フレームの自己相関マトリクスを $R[0]$ 、 $n$ フレーム前の雑音区間自己相関マトリクスを $R[n]$ としたときに、調節後の雑音区間の自己相関マトリクス $Radj$ は、

$$\dots (3)$$

$m$ 単位に分けて、声道分析（スペクトル分析）する影響を受け、分析結果が実際のものとは異なってしまう。また、分析結果の異なり度合いはフレーム毎に変動するために符号化・復号化後の信号は原音声のスペクトルと異なるばかりでなく、耳障りな音になってしまう。スペクトル推定を行うための自己相関マトリクスを過去の雑音フレームのものと組み合わせることによってフレーム間の分析結果の異なり度合いを抑え、耳障りな合成音の発生を防ぐことが可能となる。また、人間の聴覚上、定常

なノイズ区間よりも変動部分のノイズに敏感なため雑音フレーム間のスペクトル変動を抑えることができる。

【0050】『第2の実施の形態』：

(B) 更に、上述の(A)の構成において、雑音区間合成フィルタ係数をLSP(線スペクトル対：Line Spectrum Pair)係数に変換し、合成フィルタのスペクトル特性を求め、合成フィルタスペクトル特性と過去の雑音区間合成フィルタスペクトル特性とを照合することによってスペクトル変動を抑えた新しいLSP係数を求め、新しいLSP係数を合成フィルタ係数に変換した後に量子化して復号器に送信し、合成フィルタ係数を用いて最適符号帳ベクトルの検索を行うように構成するものである。

【0051】次に上述の(B)の構成を実現する詳細な構成を説明する。図2はCELP符号化装置の機能構成図である。この図2において、上述の図1と異なる構成は、特に点線で囲んでいる部分である。即ち、『この点線で囲まれた部分には』、自己相関マトリクス計算部102と、LPC分析部103Aと、音声・雑音判定部110Aと、予測利得計算部112と、声道係数/LSP変換部119と、LSP/声道係数変換部120と、LSP係数調節部121とを備えている。

【0052】上記点線で囲まれた部分以外は、おおよそ同じ構成であり、同様な動作を行うので、『上記点線で

$$LSP_{adj}[i] = \sum W_k \cdot LSP_{-k}[i] \quad \dots (4)$$

ここで、 $k=0 \sim m-1$ 、 $\sum W_k = 1$ 、 $0$ 、 $i=0 \sim Np-1$ 、 $W_k \geq W_{k+1} \geq 0$ で表すことができる。

【0056】上記LSP係数は、コサイン領域の係数である。このような計算に対応する処理を行うものである。この処理によって得たLSP係数1aをLSP/声道係数変換部120に与えるものである。

【0057】(動作)： 最適な声道予測係数aaを求めるまでの動作を説明し、符号帳による最適励振ベクトル信号exの生成については、上述の第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。そこで、先ず入力音声デジタル信号Sは自己相関マトリクス部102に与えられて、自己相関マトリクスRが求められる。この自己相関マトリクスRは、LPC分析部103Aに与えられて、声道予測係数aが求められる。この声道予測係数aは、予測利得計算部112と、声道係数/LSP変換部119と、音声・雑音判定部110とに与えられる。

【0058】これによって、予測利得計算部112では、予想利得信号pgが求められて音声・雑音判定部110に与えられる。声道係数/LSP変換部119では声道予測係数aからLSP係数lが求められてLSP係数調節部121に与えられる。一方、声道予測係数aと、入力音声ベクトル信号Aと、ピッチ信号pitchと、予測利得信号pgとが与えられると、音声/雑音判定信号vとが出力されて、LSP係数調節部121に与えられる。このLSP係数調節部121でLSP係数l

囲まれた部分を中心として、声道係数を修正し、従来音声期間以外の時間の雑音部分のCELP符号化によって耳障りな音を再生していた原因を解消することを述べる』。

【0053】そこで、『声道係数/LSP変換部119』は、声道予測係数aからLSP係数lに変換してLSP係数調節部121に与える。『LSP係数調節部121』は、音声・雑音判定部110からの音声/雑音判定信号vと、声道係数/LSP変換部119からのLSP係数lとからLSP係数lの調節を行い、雑音の影響の低減を行って、調節されたLSP係数1aをLSP/声道係数変換部120に与える。

【0054】『LSP/声道係数変換部120』は、LSP係数調節部121からの『調節されたLSP係数1a』を最適な声道予測係数aaに変換して合成フィルタ104へのデジタルフィルタ係数として与える。

【0055】(LSP係数調節部121の詳細)： 上述のLSP係数の調節は、過去のいくつかのmフレーム連続で雑音と判定されたときに行う。ここで現フレームLSP係数をLSP-0[i]、nフレーム前の雑音区間LSP係数をLSP-n[i]とし、調節後のLSP係数は、 $i=1, \dots, Np$ =フィルタ次数としたとき、

の調節を行い、雑音の影響の低減を行って、調節されたLSP係数1aがLSP/声道係数変換部120に与えられる。このLSP/声道係数変換部120でLSP係数1aが最適な声道予測係数aaに変換されて合成フィルタ104に与えられるのである。

【0059】このように構成することで、雑音区間の声道予測係数を従来に比べて最適に修正して、耳障りな音の元となる符号化信号を生成しないようにするものである。

【0060】(第2の実施の形態の効果)： 以上の第2の実施の形態によれば、スペクトルと直接関係のあるLSP係数を調節することによって、上述の第1の実施の形態と同じような効果を得ることができると共に、LPC分析を2度行う必要がないので演算量を削減することが可能である。

【0061】『第3の実施の形態』：

(C) 更にまた、上述の(A)の構成において、雑音区間合成フィルタ係数を過去の雑音区間合成フィルタ係数との補間によって現雑音区間における新しい合成フィルタ係数を直接計算し、新しい合成フィルタ係数を量子化して復号器に送信し、新しい合成フィルタ係数を用いて最適符号帳ベクトルの検索を行うように構成するものである。

【0062】次に上述の(C)の構成を実現する詳細な構成を説明する。図3はCELP符号化装置の機能構成

10

20

30

40

50

13

図である。この図3において、上述の図1と異なる構成は、特に点線で囲んでいる部分である。即ち、この点線で囲まれた部分には、自己相関マトリクス計算部102と、LPC分析部103Aと、音声・雑音判定部110と、予測利得計算部112と、声道係数調節部126とを備えている。『声道係数調節部126』は、LPC分析部103Aからの声道予測係数 $a$ と、音声・雑音判定部110からの音声／雑音判定信号 $v$ とから声道予測係数を、雑音の影響を低減し得るように調節して最適な声道予測係数 $aa$ を合成フィルタ104に与えるものである。10

$$a_{adj}[i] = \sum W_k \cdot (a - k) \quad \dots (5)$$

尚ここで、 $\sum W_k = 1$ 、 $0$ 、 $W_k \geq W_{k+1} \geq 0$ 、 $k = 0 \sim m-1$ 、 $i = 0 \sim N_p-1$ で表すことができる。

【0064】このときに、調節後の係数を用いたフィルタの安定性を確認する必要があり、不安定と判断されたときには調節を行わないように制御することが好ましい。

【0065】(動作)： 最適な声道予測係数 $aa$ を求めるまでの動作を説明し、符号帳による最適励振ベクトル信号 $ex$ の生成については、上述の第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。そこで、先ず入力音声ベクトル信号 $S$ は自己相関マトリクス部102に与えられて、自己相関マトリクス $R$ が求められる。この自己相関マトリクス $R$ は、LPC分析部103Aに与えられて、声道予測係数 $a$ が求められる。この声道予測係数 $a$ は、予測利得計算部112と、声道係数調節部126と、音声・雑音判定部110とに与えられる。

【0066】予測利得計算部112では、声道予測係数 $a$ から予測利得係数 $pg$ が求められて音声・雑音判定部110に与えられる。入力音声デジタル信号 $S$ と、予測利得係数 $pg$ と、声道予測係数 $a$ と、ピッチ信号 $ptch$ とが与えられた音声・雑音判定部110では、音声／雑音区間の判定が行われて、音声／雑音判定信号 $v$ とが求められて声道係数調節部126に与えられる。音声／雑音判定信号 $v$ と、声道予測係数 $a$ とから声道係数調節部126で雑音の影響を低減し得るように調節された最適な声道予測係数 $aa$ が求められ合成フィルタ104に与えられる。

【0067】このように構成することで、雑音区間の声道予測係数を従来に比べて最適に修正して、耳障りな音の元となる符号化信号を生成しないようにするものである。

【0068】(第3の実施の形態の効果)： 以上の第3の実施の形態によれば、声道係数を直接過去の雑音区間の声道係数と組み合わせることによって、上述の第1の実施の形態と同様な効果を得ることができると共に、フィルタ係数を直接算出処理するので演算量を削減することができる。

【0069】『第4の実施の形態』：

(D) サブフレーム毎に音声・雑音判定を行い、この判

14

る。つまり、声道予測係数 $a$ を過去の雑音区間の声道予測係数と組み合わせることによって、新しい声道予測係数 $aa$ を直接求めるものである。

【0063】具体的には、上記声道予測係数の調節は、過去のいくつかの $m$ フレーム連続で雑音と判定されたときに行う。そして、現フレーム合成フィルタ係数を $a - 0[i]$ 、 $n$ フレーム前の雑音区間合成フィルタ係数を $a - n[i]$ としたときに、 $i = 1, \dots, N_p : N_p =$ フィルタ次数として、調節後のフィルタ係数は、

$$\dots (5)$$

定に基づいて雑音低減量、雑音低減法を決定し、決定された雑音低減法に従いターゲット信号ベクトルを計算して、ターゲット信号ベクトルを用いて最適符号帳ベクトルを検索するように雑音低減型CELP系音声符号化器を構成するものである。

【0070】次に上述の(D)の構成を実現する詳細な構成を説明する。図4はCELP符号化装置の機能構成図である。この図4において、上述の図1と異なる構成は、点線で囲んでいる部分である。即ち、この点線で囲まれた部分には、音声・雑音判定部110Bと、ノイズ低減フィルタ122と、予測利得計算部112と、フィルタバンク124と、フィルタ制御部125とを備えている。

【0071】『フィルタバンク124』は、バンドパスフィルタ $a \sim n$ から構成され、それぞれの通過帯域は、異なる帯域であり、バンドパスフィルタ $a$ は入力音声デジタル信号 $S$ に対して通過帯域信号 $S_{bp1}$ を出力し、 $\dots$ 、バンドパスフィルタ $n$ は入力音声デジタル信号 $S$ に対して通過帯域信号 $S_{bpN}$ を出力して音声・雑音判定部110Bに与える。このようなフィルタバンク構成によって、阻止帯域の雑音を低減し、SN比が増大された通過帯域信号を出力し、音声・雑音判定部110Bでの音声区間・雑音区間の判定を、通過帯域ごとに容易に行い得るようにすることができる。

【0072】予測利得計算部112は、LPC分析部103Aからの声道予測係数 $a$ から予測利得係数 $pg$ を求めて、音声・雑音判定部110Bに与える。この音声・雑音判定部110Bは、フィルタバンク124からの通過帯域信号 $S_{bp1} \sim S_{bpN}$ と、ピッチ信号 $ptch$ と、予測利得係数 $pg$ とから、各帯域ノイズ評価関数を計算し、各帯域ごとの音声・雑音判定信号 $v1 \sim vN$ を出力してフィルタ制御部125に与える。

【0073】『フィルタ制御部125』は、音声・雑音判定部110Bからの音声・雑音判定信号 $v1 \sim vN$ から各帯域ごとの有声・無声・雑音判定に応じてノイズ低減フィルタ係数の調節を行い、調節されたノイズ低減フィルタ係数 $nc$ をノイズ低減フィルタ122に与える。ノイズ低減フィルタ122は、IIR型又はFIR型のデジタルフィルタで構成され、フィルタ制御部125か

50



らのノイズ低減フィルタ係数 $n_c$ を設定し、このフィルタ係数によって入力音声デジタル信号 $S$ を最適に処理し雑音を低減したターゲット信号 $t$ を出力して、減算器116に与えるものである。

【0074】(動作)： ターゲット信号 $t$ を求めるまでの動作を説明し、符号帳による最適励振ベクトル信号 $e_x$ の生成については、上述の第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。そこで、先ず入力音声デジタル信号 $S$ は自己相関マトリクス部102に与えられて、自己相関マトリクス $R$ が求められる。この自己相関マトリクス $R$ は、LPC分析部103Aに与えられて、声道予測係数 $a$ が求められる。この声道予測係数 $a$ は、予測利得計算部112と合成フィルタ104とに与えられ、予測利得計算部112で予測利得係数 $p_g$ が求められて音声・雑音判定部110Bに与えられる。

【0075】一方、入力音声デジタル信号 $S$ がフィルタバンク124に与えられ、ここで、各バンドパスフィルタ $a \sim n$ によって帯域通過信号 $S_{bp1} \sim S_{bpN}$ が出力される。これらの帯域通過信号 $S_{bp1} \sim S_{bpN}$ とピッチ信号 $p_{tch}$ と予測利得係数 $p_g$ とは、音声・雑音判定部110Bに与えられ、各帯域ごとの音声・雑音判定信号 $v1 \sim vN$ が求められる。これらの音声・雑音判定信号 $v1 \sim vN$ を用いて、フィルタ制御部125でノイズ低減フィルタ係数の調節が行われて、ノイズ低減フィルタ係数 $n_c$ としてノイズ低減フィルタ122に与えられる。

【0076】このノイズ低減フィルタ係数 $n_c$ によってノイズ低減フィルタ122は雑音低減を最適に行い得るように最適にデジタルフィルタのフィルタ係数として設定される。この設定によってノイズ低減フィルタ122で入力音声デジタル信号 $S$ に対するフィルタ処理が行われてターゲット信号 $t$ が得られる。このターゲット信号 $t$ と合成フィルタ104からの合成音声信号 $Sw$ との差 $e$ が減算器116で求められて、この誤差信号 $e$ を元に重み付け距離計算部108で最適インデックスの探索が行われるのである。

【0077】このように構成することで、雑音区間のノイズを従来に比べて低減して、耳障りな音の元となる符号化信号を生成しないようにするものである。

【0078】(第4の実施の形態の効果)： 以上の第4の実施の形態によれば、人間の聴感上、音声区間中の背景雑音だけを聞いた場合に比べて不快感の度合いが少ない。そこで、符号化時に音声区間を区別し、雑音区間と音声区間とでノイズの低減方法を変えることによって、音声区間で複雑な処理を行うことなく聴感上の音質を向上することが可能である。

【0079】また、ノイズ低減をCELP符号化装置のターゲット信号に対してだけに行うことで、サブフレーム単位でのノイズ低減を行うことが可能であり、音声・雑音判定を誤ったときの音声に与える影響を少なくする

ことができると共に、ノイズ低減に伴うスペクトル歪みの影響を少なくすることができる。

【0080】(他の実施の形態)： (1)尚、以上の実施の形態において、更に、パルス符号帳を備えて、パルス性励振ベクトルを波形コードベクトルとして使用して合成音声ベクトルを生成するように構成しても好ましい。

【0081】(2)また、上述の図1の合成フィルタ104を、IIR型デジタルフィルタで構成することを述べたが、他にFIR(Finite Impulse Response：非巡回)型デジタルフィルタや、IIR型とFIR型との複合型デジタルフィルタで構成することも好ましい。

【0082】(3)更に、上述のCELP符号化装置において、統計符号帳を備えてCELP符号化することも好ましい。このような統計符号帳の構成、作成方法については、例えば、文献：特開平6-130995号公報『統計コードブック及びその作成方法』で示されている構成、作成方法で実現することもできる。

【0083】(4)更にまた、上述の実施の形態では、CELP符号化装置の詳細な説明を行ったが、復号化装置の構成は、例えば、文献：特開平5-165497号公報『コード励振線形予測符号化器及び復号化器』で示されている構成で復号することもできる。

【0084】(5)また、上述の実施の形態ではCELP符号化装置への適用を示したが、他にVS(ベクトル和)ELP符号化装置にも適用することができる。LD(低遅延)-CELP、CS(共役構造)-CELP、PSI(ピッチ同期雑音)-CELPにも適用し得る。

【0085】(6)更に、上述の実施の形態のCELP符号化装置は携帯電話機などに適用して効果的であり、こうした構成は、例えば、文献：特開平6-130998号公報『圧縮音声復号化装置』に示されているTDM A送信装置、受信装置にも適用して効果的である。また、本発明をVSELPによるTDMA送信機に適用することも好ましい。

【0086】(7)更にまた、上述の図4のノイズ低減フィルタ122として、IIR型、FIR型、IIR・FIR複合型デジタルフィルタで実現する他に、カルマンフィルタを適用することも好ましい。このカルマンフィルタは、信号及び雑音の統計量が与えられれば適用可能であり、信号及び雑音の統計量が時間的に変化するよに与えられた場合でも最適動作ができる効果がある。

【0087】

【発明の効果】以上述べた様に請求項1の発明によれば、入力音響信号から自己相関の情報を求める自己相関分析手段と、自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、入力音響信号と声道予測係数と予測利得係数とから入力音響

信号の非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における自己相関の情報を調節する自己相関調節手段と、調節後の自己相関の情報から非音声信号区間における声道予測係数を補償した補償後声道予測係数を得る声道予測係数補償手段と、補償後声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことで、非音声信号区間の音響信号の自己相関の情報を調節し、非音声信号区間の音響信号の影響を低減することができる。

【0088】また、請求項2の発明によれば、入力音響信号から自己相関の情報を求める自己相関分析手段と、自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、声道予測係数からLSP係数を求めると共に、入力音響信号と声道予測係数と予測利得係数とから入力音響信号の非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間におけるLSP係数を調節するLSP係数調節手段と、調節後のLSP係数から非音声信号区間における声道予測係数を補償した補償後声道予測係数を得る声道予測係数補償手段と、補償後声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことで、LSP係数の段階で非音声信号区間におけるスペクトル変動の抑圧を行うので非音声信号区間の音響信号の影響を低減することができる。

【0089】更に、請求項3の発明によれば、入力音響信号から自己相関の情報を求める自己相関分析手段と、自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、入力音響信号と予測利得係数と声道予測係数とから非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間における声道予測係数を調節して、調節後の声道予測係数を得る声道係数調節手段と、調節後の声道予測係数と適応励振信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことで、声道予測係数から直接に非音声信号区間の声道予測係数を調節することができるので、演算量を非常に少なくしながら、非音声信号区間の音響信号の符号化出力への影響を低減することができる。

【0090】更にまた、請求項4の発明によれば、入力音響信号から自己相関の情報を求める自己相関分析手段と、自己相関分析手段の分析結果から声道予測係数を求める声道予測係数分析手段と、声道予測係数から予測利得係数を求める予測利得係数分析手段と、入力音響信号から帯域通過処理して得た帯域通過処理信号と、予測利得係数とから非音声信号区間を検出し、この非音声信号区間の信号分析を行ってノイズ除去のためのフィルタ係数を生成し、入力音響信号に対してフィルタ係数を使用してノイズ除去を行って合成音声信号の生成のためのターゲット信号を生成するノイズ除去手段と、声道予測係数を使用して上記合成音声信号を生成する合成音声生成手段と、声道予測係数とターゲット信号とを使用して入力音響信号をコード励振線形予測符号化する符号化手段とを備えたことで、ノイズ除去されたターゲット信号を得ることができるので、非音声信号区間の符号化出力にノイズの影響を与えないようにすることができる。

【0091】従って、非音声信号区間における音響信号（雑音や回転音や振動音など）の符号化出力に与える影響を低減し、良好な音声再生を行うことができるコード励振線形予測符号化装置を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態のCELP符号化装置の機能構成図である。

【図2】本発明の第2の実施の形態のCELP符号化装置の機能構成図である。

【図3】本発明の第3の実施の形態のCELP符号化装置の機能構成図である。

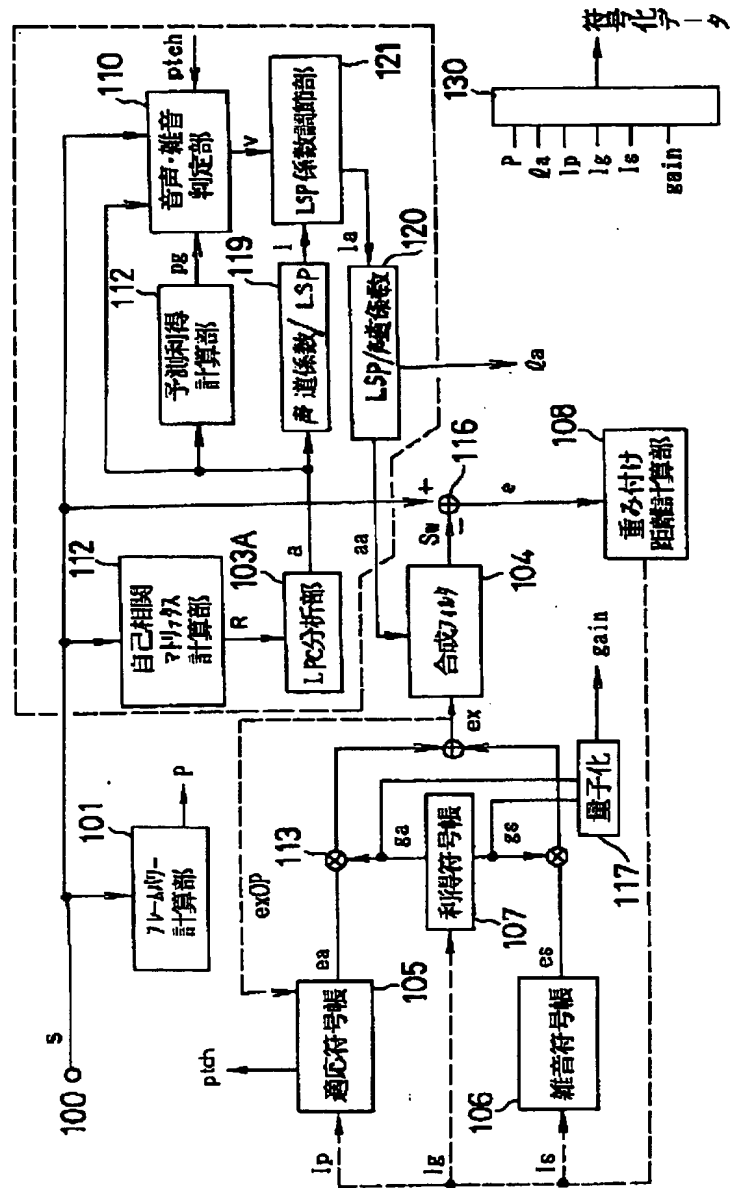
【図4】本発明の第4の実施の形態のCELP符号化装置の機能構成図である。

#### 【符号の説明】

100…入力端子、101…フレームパワー計算部、102…自己相関マトリクス計算部、103…LPC分析部、104…合成フィルタ、105…適応符号帳、106…雑音符号帳、107…利得符号帳、108…重み付け距離計算部、109…LSP量子化器、110…音声・雑音判定部、111…自己相関マトリクス調節部、112…予測利得計算部、113、114…乗算器、115、116…加算器、117…量子化器。



【図2】



【図4】

